

IoT 환경에서의 EMC 기술 전망

박 현 호* · 송 익 환**

*수원대학교 · **광운대학교

I. 서 론

지금까지 인터넷은 인간이 주체가 되어 언제(any-time), 어디서든(any-place) 정보를 교환 및 공유할 수 있는 도구로써 사용되어 왔다(Internet of People). 하지만 최근에는 지능성을 보유한 여러 기기들이 스스로 인터넷에 접속하여 정보를 공유하기 시작했다. 이처럼 모든 사물(any-thing)이 인터넷에 연결되어 정보를 공유할 수 있는 IoT(Internet of Things)의 시대를 목전에 두고 있다(그림 1). 본 고에서는 IoT의 주요 기술들을 살펴보고, 향후 IoT 시대에 필요한 미래 EMC 기술은 무엇인지를 전망해 보고자 한다.

II. IoT(Internet of Thing) 기술 개요

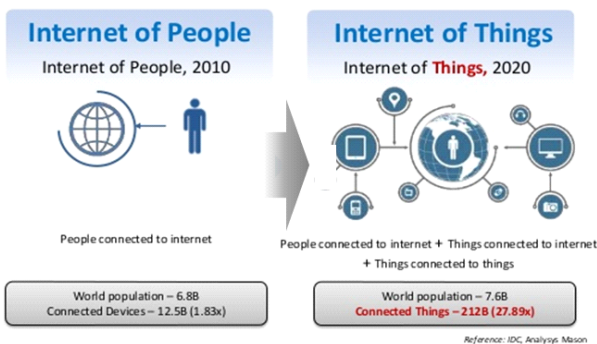
2-1 IoT의 개념과 시장 전망

IoT는 인간과 인간, 인간과 사물, 사물과 사물이 서로 인터넷을 통해 연결이 가능하며, 인간의 명시적 개입 없이 상호협력적으로 센싱, 네트워킹, 정보 처리 등 지능적 관계를 형성하는 사물 공간 연결망을 뜻한다. [그림 2]에서처럼 IoT를

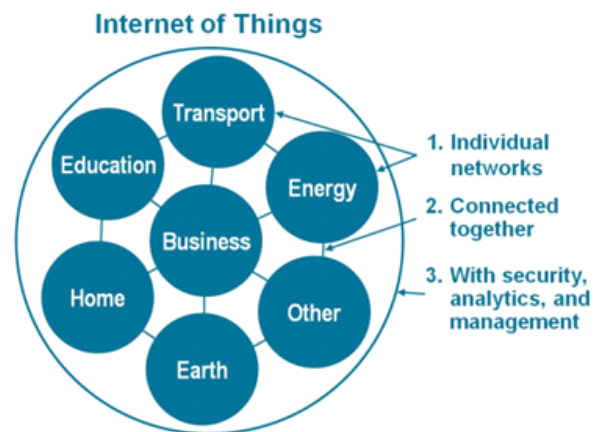
통해 집(home), 건물(building), 공장(manufacturing), 도시(city), 교통(transportation), 에너지(energy), 건강(healthcare) 등이 개별 네트워크를 형성할 수 있으며, 이들 개별 네트워크들이 다시 유기적으로 연결되어 거대한(giant) 네트워크를 형성한다.

IoT의 개념은 지속적으로 진화하고 있다. 초기에는 Machine-to-Machine(M2M) 통신, Wireless Sensor Networks(WSN), Cyber-Physical Systems(CPS), Embedded Intelligence(EI) 등과 같은 물리적인 시스템으로 불리었으나, 이제는 인간뿐만 아니라 모든 사물이 지능적으로(intelligent fashion) 인터넷에 접속하고 통신할 수 있는 스마트한 세상(society)을 의미하고 있다. 또한 서로 다른 IoT 기기들의 다양한 조합으로 새로운 응용분야와 서비스(service)를 끊임없이 만들어 낼 수 있다.

2011년 예측 자료에 의하면 2020년까지 40~50 billion 개의 기기들이 인터넷에 연결될 것으로 전망하고 있다^[2]. 2015년 6월 McKinsey는 [그림 3]에서 보이는 바와 같이 IoT의 잠재적 시장규모를 예측하기 위해 쉽게 접근할 수 있는 환경



[그림 1] 인터넷의 진화로써의 IoT



Source: Cisco IBSG, April 2011

[그림 2] 네트워크들의 네트워크로써의 IoT^[1]

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음[B0138-16-1001, EMC기술지원].



[그림 3] 9개 IoT 부문의 시장 전망^[2]

을 기준으로 9개 부문을 선정 제시하였다. IoT 시장분류 9개 부문 중, ‘공장(최대 3.7조 달러)’, ‘도시(최대 1.7조 달러)’, ‘건강(최대 1.6조 달러)’ 순으로 가장 큰 시장을 형성할 것으로 전망하고 있으며, 향후 기업(B2B) 부문에 더 많은 효과가 발생할 것으로 전망하고, 2025년 잠재 시장규모 중 약 70%가 B2B 시장이 될 것으로 예측하고 있다^[2].

2-2 IoT의 주요 기술

IoT는 <표 1>에서 제시한 구성 요소들(Components)로 이루어진다^[3]. IoT를 구현하기 위해서는 통신, 네트워크, 센서, 시스템설계 등 다양한 분야의 지속적인 혁신과 융합이 필요하다. ITU는 IoT를 실현 가능하게 하는 기술을 <표 2>와 같이 간략히 네 가지로 분류하였다^[4]. 각 기술들을 위해서 필요로 하는 요소기술들을 정리하면 다음과 같다.

2-2-1 Connecting Things(연결)의 요소기술

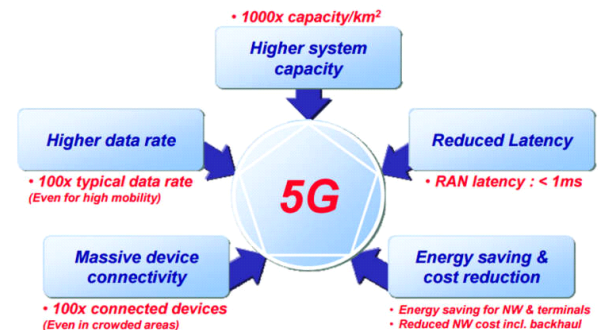
- 광대역 5G 통신기술: IoT 기기들로부터 수집된 방대한 데이터를 효과적으로 처리하고 광대역의 데이터를 주고받을 수 있는 차세대 통신 기술(그림 4)
- 초고속 신호처리 기술: IoT 기기들로부터 수집된 데이터를 시간지연 없이 실시간으로 분석/처리하는 기술^[6]
- 인터넷 프로토콜 버전 6(IPv6): 3.4 × 1,038개의 개별 주소를 확보하여 수십억 개의 IoT 기기들에 개별적인

<표 1> IoT의 구성 요소들

구성요소	설명
Physical objects	사물들
Sensors	물리적인 환경을 감지
Actuators	물리적인 환경에 작용
People	모바일 앱을 통해 환경을 조절/관리할 수 있음
Services	빅데이터를 처리하고 가치 있는 정보로 변환하는 것, 혁신적인 응용 프로그램을 만들고 실행하는 것, 기기와 데이터를 통합함으로써 비즈니스 프로세스를 최적화하는 것 등
Platforms	IoT 구성요소들(사물, 인간, 서비스 등)이 IoT에 접속하는데 사용하는 일종의 미들웨어
Networks	IoT 구성요소들은 다양한 유무선 통신기술을 통해 네트워크에 모두 묶여 있음

<표 2> IoT의 enabling technologies

Enabling technologies	설명
Connecting things	IoT 기기들에 고유IP를 부여하고 상호간 연결하는 통신 기술
Feeling things	센서 등을 통한 다양한 데이터 수집 기술
Thinking things	수집된 방대한 데이터를 스마트하게 분석하고 처리하는 기술
Shrinking things	IoT 기기들의 소형화를 위한 시스템 설계 기술



[그림 4] 5G 통신기술의 특징^[5]

독립 IP를 부여하고, 말단(end-to-end) 통신 및 추적이 가능하도록 하는 차세대 인터넷 프로토콜 기술^[6]

- RFID 기술: IoT 기기들의 신분확인 및 추적 및 모니터링을 위한 기술
- 클라우드 컴퓨팅: 인터넷상에 존재하는 가상의 데이터 플랫폼으로서, IoT 기기에서 수집된 방대한 데이터의 저장/처리/교환을 위한 필수 기술

2-2-2 Feeling Things(지각)의 요소기술

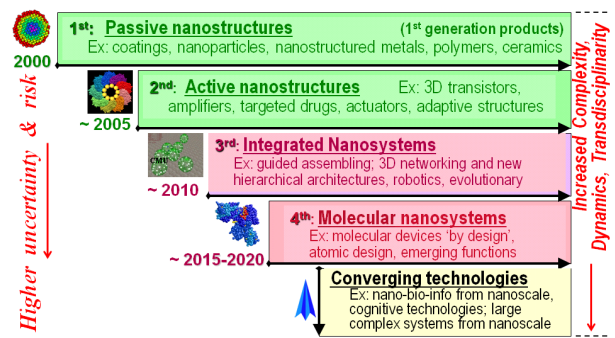
- 센서 기술: IoT 기기에 실장되어 다양한 환경정보를 수집하는 기술
- 무선 센서 네트워크: IoT 센서들이 서로 연동하여 수집된 정보를 주고받고, 각 센서 네트워크의 게이트웨이를 통해 외부 네트워크와 연결하는 기술
- 저전력 회로설계 및 배터리 기술: 센서의 소모전력 최소화를 위한 기술로 저전력 소자/칩셋 설계 기술, 고용량/소형 배터리 개발 기술

2-2-3 Thinking Things(처리)의 요소기술

- 내장 지능(Embedded Intelligence; EI): IoT 기기에서 수집된 방대한 정보를 각 IoT 기기 또는 지역네트워크에 내장된 지능형 신호처리를 통해 분석하여 감성적/통계적/환경적 정보를 도출하는 기술^[7]
- 스마트 IoT 시스템 간의 상호작용: 서로 다른 IoT 시스템 간의 융합적 상호작용을 통한 새로운 부가정보 가치를 창출하는 기술
- 안전 및 정보보안 기술: 스마트한 내장 지능을 통해 사용자의 인식 없이 방대한 IoT 정보가 처리되고, IoT 시스템의 기능적/환경적 동작이 결정되는데, 이 때 데이터 처리 과정에서의 오류, 데이터의 유실 및 해킹으로 인한 IoT 시스템의 오동작을 방지할 수 있는 안전 기술과 정보보안 기술^[8]

2-2-4 Shrinking Things(소형화)의 요소기술

- 시스템 소형화 기술: IoT 기기의 소형화를 통한 IoT 기술 활용을 극대화하고, 원가를 절감하기 위한 필수 기술
- 나노 기술: IoT 기기의 극소형화를 위한 물리적/화학



[그림 5] 나노기술의 진화^[9]

적 한계를 극복할 수 있는 기술(그림 5)

III. IoT에서 요구되는 EMC 기술

지금까지 설명한 IoT의 주요 기술들을 실제 구현함에 있어서 요구되는 EMC 기술들을 정리하면 다음과 같다.

3-1 Connecting Things(연결)을 위한 EMC 기술

- 고속신호선 설계기술: 고용량 데이터 전송을 위해 전송선의 태생적 감쇄성분으로 인해 발생하는 고속 디지털 신호의 열화현상을 극복할 수 있는 기술
 - 신호선 기생성분 모델링(Interconnect Parasitic Modeling) 기술: 기존 저주파 설계에서는 무시했었던 신호선 연결구조의 기생성분에 대한 고주파 해석 기술
 - 마이크로 신호선 설계(Micro Interconnect Design): IoT 시스템의 초소형화로 인한 미세 신호선 설계기술
 - 저가형 광학 인터페이스(Low-cost Optical Interface) 개발: 방대한 양의 IoT 데이터 전송을 위한 저가형 광학 인터페이스 기술
- 5G/mm-wave에서의 EMC 기술: 매우 짧은 전송지연, 매우 큰 데이터 처리능력을 갖는 mm-wave 대역의 5G 통신 및 전송기술
 - 5G 통신을 위한 적응형 배열안테나 설계: 5G 통신기기 적용을 위한 방향성/적응형 배열 안테나 설계 기술
 - mm-wave용 기관물질 개발: 광대역 통신기술의 기반 기술로 30~300 Gbps, mm-wave 대역 baseband 주파수 활용을 위해 mm-wave용 시스템/안테나 구현을 위

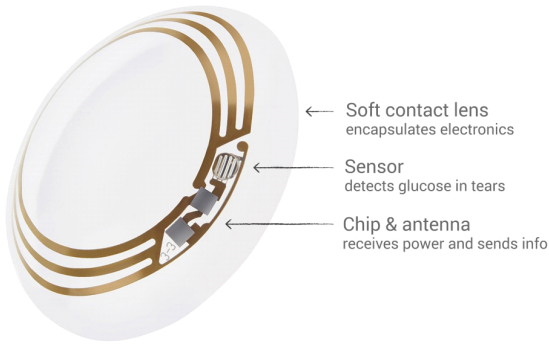
한 초저감쇄 기관 개발 필요

- 근거리 통신기술의 EMC 기술: 근거리 공간 내에 존재하는 IoT 기기들은 기존의 Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, NFC 등의 근거리 통신기술을 활용하여 손쉽게 스마트한 환경을 만들 수 있음
 - 동일 및 인접 채널 간섭 회피 기술: 수많은 IoT 기기들이 동일 공간 내에 동일 주파수 밴드를 이용해 통신할 경우, 채널 간 간섭 문제가 발생할 수 있음. 동일 채널 간 또는 인접 채널 간 간섭을 회피할 수 있는 근거리 통신 기술이 필요
 - NFC 코일용 EMI/EMC 재료 개발: 스마트 홈의 경우, 자기장 기반의 NFC 코일이 부착된 다양한 스마트 기기들을 사용하며, 이들 기기 간의 인식거리를 넓히기 위해서 NFC 코일에 자성 재료를 활용하고 있음. 작고, 얇은 IoT 기기에 적용하기 위해서는 자성 재료가 얇으면서 성능이 우수하고, 가벼우면서 유연해야 하며, 이러한 조건을 만족하는 나노 물질 기반의 EMC 재료 개발 필요
 - 의료 환경에서의 NFC와 웨어러블 기기들에 대한 규제: 의료 환경에서 근거리 통신을 사용하는 IoT 기기들은 의료장비와의 원치 않는 전자파 간섭이 일어날 수 있으며, 이를 예방하기 위해서 다른 환경보다 더 엄격한 사용 기준이 요구됨. 웨어러블 기기나 인체에 삽입된 임플란트 의료 기기들의 경우, 전자파가 인체에 유해한 영향을 줄 수도 있기 때문에, 더 엄격한 전자파 노출 기준을 만족해야 함
- 전자파환경 감시 및 EMF 기술: 수많은 IoT 기기들이 무선으로 인터넷에 접속하거나 서로간의 통신이 이루어질 경우, 전자기기뿐만 아니라, 인체에도 지금의 전자파 환경보다 다량의 그리고 지속적인 전자파에 노출될 수 있음
 - IoT 환경에서의 전자파 노출량 관리 기술: 무선 IoT 기기들로부터 방출되는 전자파로 인한 전자기기들의 오동작으로 안전 문제가 발생할 수 있으며, 인체의 건강을 위협할 수 있음. 전자파 환경을 모니터링하여 전자기기들의 오동작으로 인한 안전 문제를 사전에 예방하고, 인체의 건강에 해가 되지 않도록 인체 영

향을 평가, 관리할 수 있는 기술

3-2 Feeling Things(지각)을 위한 EMC 기술

- 센서 EMC 기술: 수많은 센서들이 매우 작은 IoT 기기 내에 고밀도로 실장되므로 센서 간 전자파 간섭을 고려한 시스템 설계 필요
 - 전자기복사 내성설계: 시스템 내부의 전자기 간섭으로 동작에 문제가 생기지 않도록 전자기 복사노이즈에 대한 내성 설계 기술
 - 전기적/기구적/열적 분리설계: 초소형 IoT 기기들에 고밀도로 실장된 센서 간 전기적/기구적/열적 간섭으로 인한 동작 결함이 발생하지 않도록 다물리 시뮬레이션(Multi-physics Simulation)을 이용한 설계 필요
- 저전력 센서 설계: IoT 기기들은 거의 모든 사물에 내장될 수 있으며, 전력을 직접적으로 공급받기 어려운 곳에 위치할 수 있고, 한번 내장되면 교체 없이 장시간 동작할 수 있어야 하기 때문에 저전력 설계 기술이 필수적임. 외부로부터 전력을 효율적으로 공급받거나, 자체적으로 전력을 수급하기 위해서 무선전력전송기술, 에너지수확기술 등이 요구됨
 - 초저전력 설계: 리튬 기반의 배터리 기술을 이용할 경우, IoT 기기를 수년간 동작시키기 위해서는 nano Watt 나 pico Watt 레벨의 전력 소모를 요구함. 저전력 회로에서는 공급전압 레벨이 낮아져 외부 노이즈에 의한 영향이 커지기 때문에 전원노이즈 설계 및 전자파 내성설계가 중요함
 - IoT 기기를 위한 무선전력전송 기술: 산재된 IoT 기기들에 효과적으로 전력을 공급하기 위해서는 기존의 접촉방식의 무선전력 전송기술보다는 마이크로파를 이용한 중거리 무선전력전송기술(point-to-point, point-to-multipoint)이 요구됨. 초소형 IoT 기기에 적합한 초슬림 초소형 무선전력전송 모듈 설계 기술이 필요(그림 6). 전력과 데이터를 동시에 전송 가능한 기술 필요
 - 에너지수확기술: RF 에너지를 수확할 수 있는 기술로, 공간에 존재하는 전자파나 EM 노이즈를 수확하여 μW 이하의 전력 공급이 가능하도록 하는 기술
- 다물리 해석기술(Multi-physics Simulation): IoT 기기들



[그림 6] Google의 smart contact lens

은 다양한 환경에 놓여 있는 다양한 사물에 탑재될 수 있기 때문에 다양한 물리적 조건하에서 동작에 문제 없도록 설계되어야 하고, 이를 위해서는 다물리 현상(thermal/shock/vibration/electromagnetics 등)을 다룰 수 있는 시뮬레이션 기술이 필요함. 나노 사이즈의 기기 레벨에서 매크로 스케일의 네트워크 레벨까지 통합해서 해석할 수 있는 다중영역(multi-domain), 다중스케일(multi-scale) 시뮬레이션 기술이 필요

3-3 Thinking Things(처리)을 위한 EMC 기술

- IC-Board 통합 설계 기술: 고집적화 된 IoT 기기들의 구현 및 성능확보를 위한 IC와 Board의 통합 설계
 - 고주파 부품 모델링: 시스템을 구성하는 각 부품 및 연결구조의 고주파 해석기술 확보를 통한 고속시스템의 성능 최적화 설계
 - 전원네트워크 최적화: 시스템 각 부위에 안정적으로 전원을 공급하여 시스템의 전기적 신뢰성을 확보하기 위한 전원네트워크 최적화 설계기술 필요
 - 다중영역 시스템 설계: 고집적화 된 IoT 기기들에서는 Signal/Power/EMI 각 영역이 서로 연계되어 유기적인 영향을 미치기 때문에 개별 설계가 아닌 다중영역 통합 설계가 필요
- 3차원 IC 기술: IoT 기기들로부터 수집한 방대한 양의 데이터를 저장/처리하기 위해서는 고용량/광대역 저장소자가 필요하며, 3차원으로 IC를 적층하여 기존 2차원으로 집적된 저장소자의 용량한계를 물리적으로

극복하는 3D-IC 기술 필요

- TSV(Through-Silicon Via) 모델링: 3D-IC 적층기술의 핵심인 TSV의 전기적 모델링 필수
- 실리콘 인터포저 설계 및 최적화: 적층된 3D-IC 간 광대역 신호전송을 위하여 2차원 실리콘 인터포저 설계 및 최적화 기술 필요
- 3D-IC 시스템에서의 노이즈 저감 설계: 3D-IC를 관통하는 TSV로부터 유기된 전자기 노이즈로부터 IoT 기기의 RF 성능 확보를 위한 노이즈 차폐 및 저감 설계 필요

3-4 Shrinking Things(소형화)을 위한 EMC 기술

- SiP(System-in-Package)의 SI/PI 설계 기술: 다수의 기능을 구현하는 여러 회로를 하나의 IC로 집적하여 설계하는 SoC(System-on-Chip) 기술 대비 여러 기능성 부품을 하나의 package 안에 실장하는 SiP(System-in-Package) 기술은, 빠르게 변화하는 제품기술의 경향에 발맞출 수 있는 짧은 설계 사이클 및 소량 다품종 설계 및 제작이 용이하다는 점에서 차세대 IoT 기기의 시스템 집적기술로 각광을 받고 있음
 - 혼성시스템(RF/Digital Mixed-signal System) 설계 기술: 다양한 센서들로부터 수집된 정보를 처리(Digital) 하고, 처리된 정보를 송수신(RF)하기 위한 기능이 하나의 IoT 기기 내에 모두 집적됨으로써 발생하는 노이즈 간섭을 저감할 수 있는 설계 기술 필요
 - 저가형 고성능 패키지 설계: 방대한 개수의 IoT 기기의 양산 및 적용을 위해 저가형 고성능 패키지 설계 기술 필요
 - 유연(Flexible) 패키지 설계: 웨어러블 기기 및 다양한 환경에서 데이터를 수집하는 IoT 기기를 구현하기 위해서는 유연기판을 사용한 패키지 설계기술 필요
- 내장소자(Embedded Components) 설계 및 실장 기술: 하나의 IoT 기기 내에 다양한 기능의 부품이 집적되어야 하므로, 실장성을 높이기 위한 기판 내장소자에 대한 기술 필요
 - 전자기 밴드갭(Electromagnetic Bandgap; EBG) 설계 기술: IoT 기기의 기판 내부에서 발생하는 노이즈 차폐

- 내장소자 측정기술: 고주파 IoT 기기의 성능 확보 및 설계 최적화를 위한 고정밀 내장소자 측정기술 필요
- 능동소자 내장기술: 수동소자뿐 아니라, 전원을 소모하는 능동소자의 PCB에 내장하는 기술 필요
- 나노기술에서의 EMC 기술: 차세대 IoT 기기들은 나노기술의 집합체라고 할 수 있으며, 나노구조에 대한 전자파 모델링 및 시뮬레이션 기술이 필요
- 나노구조에 대한 전자파 모델링 및 해석기술: Graphene nanoribbons(GNRs), nano-wire, nanotube 등과 같은 나노구조들을 이용한 안테나 설계, 전송선 설계가 가능하며, 나노구조들에 대한 전자파 모델링 및 해석기술이 요구됨. 거시적인 스케일에서의 전자파 이론과 나노 스케일에서의 양자역학이 접목된 나노-전자기학에 대한 개척이 필요
- 나노 EMC 기술: 나노 스케일에 발생할 수 있는 EMI/EMC/SI/PI 문제를 모델링하고 해석할 수 있는 기술이 필요. Carbon nanotube(CNT) 기반의 재료를 이용한 전자파 차폐 및 흡수재 개발이 진행 중이며, 이들에 대한 전자파 모델링 기술, 시뮬레이션 기술, 적용 기술 등이 필요

IV. 맺음말

지금까지 IoT를 구현하는 핵심기술과 그에 요구되는 미래 EMC 기술에 대해서 살펴보았다. IoT 시대가 도래함에 따라 필요로 하는 EMC 기술을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 5G 기반의 통신기술 채용으로 인해 microwave에서 mm-wave 시대로 진입하게 되고, 이로 인해 mm-wave에 대한 EMI/EMC 기술 준비가 필요하다. 또한 실시간 정보처리를 위해서 고속신호 전송기술이 모든 IT 및 IoT 기기로 확대될 것으로 예상된다. 무선을 기반으로 한 정보교류가 모든 사물로 확대됨에 따라 전자파로 인한 노이즈 간섭 및 전자파 인체영향에 대한 새로운 해결방법이 필요하다.

둘째, 센서 등 IoT 기기의 초저전력화로 인해 전자파 내성 설계가 더욱 중요해진다. 또한 어떠한 사물 그리고 어떠한 환경에서도 IoT 기기가 원활히 동작하기 위해서는 설계

단계에서 전자파, 열, 구조강도, 유동 등 다양한 물리적 조건을 동시에 고려한 설계가 필요하게 된다.

셋째, 클라우드 컴퓨팅을 통해 빅데이터를 수집하고 분석하기 위해서는 고속프로세서와 대용량의 메모리가 필요하며, 이를 위해서 3D-IC 설계 기술, IC-board 통합 설계기술이 필요하다. 방대한 데이터가 사람을 통하지 않고 수집되고 처리되기 때문에, 정보 보안, 프라이버시, 안전을 강화할 수 있는 기술개발이 필요하다.

넷째, 모든 사물에 IoT 기기가 탑재되기 위해서는 소형화 기술이 반드시 필요하며, 기존의 MEMS 기술이 더욱 발전된 나노 레벨의 NEMS 기술이 요구된다. 프로세스의 소형화를 위해서 나노 사이즈의 SiP/SoC 설계가 중요해지며, 나노 기기에 대한 전기적 모델링 및 EMI/EMC 설계 기술의 준비가 필요하다.

결론적으로 IoT를 통해 인류는 더 많은 새로운 기회를 제공받게 되고, 인간의 물리적 경계를 뛰어넘는 경험을 하게 되며, 인류 진보의 매우 중요한 분기점을 맞게 될 것이다. 또한 IoT는 인간이 지식(knowledge)을 추구하는 시대에서 지혜(wisdom)를 추구하는 시대로의 문명적 진화를 이끌어내는 중요한 수단이 될 것이다. 이러한 IoT 기술들을 성공적으로 구현하기 위해서는 EMC 요소기술의 지속적인 개발이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Evans, "The internet of things - How the next evolution of the internet is changing everything", *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, Apr. 2011.
- [2] McKinsey Global Institute, *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*, McKinsey & Company, Jun. 2015.
- [3] I. Bojanova, "What makes up the internet of things?" <https://www.computer.org/web/sensing-iot/content?g=53926943&type=article&urlTitle=what-are-the-components-of-iot>
- [4] ITU Internet Reports, "The Internet of Things", Nov. 2005.
- [5] P. Panigrahi, "When is 5G Coming? What are We Expecting?", *3GLTEinfo*, Jun. 015.

- [6] RYSAVY Research, "Mobile Broadband Explosion, 3GPP broadband evolution to IMT advanced", Sep. 2011.
- [7] B. Guo, D. Zhang, & Z. Wang, "Living with internet of things: The emergence of embedded intelligence". *Proceedings of the IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing*, 2011.
- [8] R. Desai, "Internet of Things", Jul. 19, 2016. <http://drrajiv-desaimd.com/?p=8841>
- [9] M. C. Roco, "The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years", *J Nanopart Res*, 13, 2011, pp. 427-445.

≡ 필자소개 ≡

박 현 호



1999년 8월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)
1999년 9월: 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임연구원
2006년 6월: 삼성전자 글로벌기술센터 수석연구원
2012년 9월~현재: 수원대학교 전기전자공학부

조교수

[주 관심분야] EMI/EMC 대책 기술, SI/PI 설계 기술, 전자파 해석 기술

송 익 환



2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2006년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2010년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2011년~2013년: 삼성전자 글로벌기술센터 책임

연구원

2014년~현재: 광운대학교 전자통신공학과 조교수

[주 관심분야] System-level EMI/EMC, High-Speed Signal Integrity/Power Integrity, Electromagnetic Measurement Technologies